

# KOEFISIEN PERPINDAHAN MASSA PELARUTAN PADATAN DALAM TANGKI BERPENGADUK DAN BERPENGHALANG

Panut Mulyono<sup>1)</sup> dan Jaka Erwanta<sup>2)</sup>

## ABSTRACT

Mass transfer coefficients of suspended particles were measured in agitated vessels. Three sizes of agitated vessels, each with the diameters of 10.5, 14, and 16.8 cm were used. Granulated benzoic acid with the average diameter of 0.1 cm was dissolved into the aquadest. The effects of stirring speed and vessel diameter on the mass transfer coefficients were studied. The correlation of mass transfer coefficients with the influence variables is expressed as  $Sh = 0.2286 Re^{0.407} Sc^{1/3}$  in the ranges of  $Re$  of 147,910 to 1,006,240 and  $Sc$  of 1,101 to 1,127 with the relative mean error of 9.97%.

## PENDAHULUAN

Perpindahan massa pelarutan partikel pada cairan yang turbulen merupakan hal yang penting dalam berbagai proses teknik kimia, misalnya reaksi dengan katalis berbentuk *slurry*, pelarutan padatan, kristalisasi, dan lain-lainnya. Perpindahan massa pada pelarutan partikel, terutama tentang pelarutan partikel pada tangki berpengaduk telah banyak diteliti oleh para peneliti terdahulu. Barker dan Treybal (1960), Harriot (1962), Brian dkk (1969), Hixson dan Baum (1941a dan 1941b), Zwietering (1958), dan Miller (1971) merupakan para peneliti terdepan dalam bidang bejana berpengaduk. Namun demikian, hasil-hasil penelitian mereka masih menunjukkan adanya perbedaan dan hal ini ditunjukkan pada perbedaan korelasi koefisien perpindahan massa yang mereka sajikan.

Perbedaan hasil dari beberapa peneliti di atas, mungkin karena pengabaian adanya medan aliran relatif di sekitar partikel yang bergerak bebas pada cairan turbulen dalam bejana yang berbeda. Penyebab perbedaan lainnya, mungkin adalah kompleksitas sifat-sifat partikel yang digunakan dalam percobaan dan distribusi diameter partikel.

Pendekatan untuk memprediksi pengaruh sifat-sifat aliran pada perpindahan massa diklasifikasikan menjadi empat golongan. Golongan yang pertama adalah analisis dimensional, dimana efek aliran dinyatakan dalam bilangan Reynolds pengaduk berdasarkan diameter pengaduk dan kecepatan putarannya. Tetapi parameter ini hanya memberikan sedikit informasi tentang sifat-sifat aliran di sekitar partikel. Golongan kedua adalah teori *slip velocity* yang diusulkan oleh Harriot (1962). Ia mengawali teorinya dari persamaan Ranz dan Marshall (1952) untuk bola tunggal dalam aliran tunak, dan mencobanya untuk mengkorelasikan koefisien perpindahan massa partikel-partikel dalam tangki berpengaduk dengan koefisien partikel-partikel

berbentuk bola yang bergerak pada kecepatan terminalnya. Tetapi, teori ini hanya menerangkan analogi secara kualitatif diantara kedua keadaan itu. Pendekatan yang ketiga adalah model *non-steady state* dan pendekatan yang keempat adalah berdasarkan pada teori Kolmogoroff. Teori Kolmogoroff menyatakan bahwa karakter daerah *eddy* pada aliran turbulen yang merupakan tahanan perpindahan massa hanya dipengaruhi oleh dua parameter, yaitu kecepatan disipasi energi per satuan massa fluida dan viskositas kinematiknya (Sano dkk. 1974). Penelitian ini mencari koefisien perpindahan massa pada pelarutan partikel dalam bejana berpengaduk dan berpenghalang kemudian memformulasikannya dalam bentuk persamaan bilangan tidak berdimensi dengan bilangan Reynolds berdasarkan pada teori Kolmogoroff.

## LANDASAN TEORI

Menurut teori Nernst-Brunner tentang kecepatan pelarutan padatan pada cairan yang diaduk, terdapat suatu lapisan filem yang tidak bergerak pada bidang batas antara fasa padat dan fasa cairnya. Karena itu, padatan dipindahkan dari fasa padat ke fasa cair hanya dengan cara difusi molekuler. Untuk perpindahan massa pada sistem padat-cair, tebal lapisan filem efektif didefinisikan dengan persamaan berikut (Hixson dan Baum, 1941a).

$$X_m = \frac{D}{k} \quad (1)$$

Rumus atau persamaan untuk kecepatan pelarutan partikel padatan dalam zat cair yang diaduk telah diformulasikan oleh Hixson dan Crowell (1931). Persamaan dasarnya disajikan dalam bentuk persamaan diferensial sebagai berikut.

$$\frac{dW}{dt} = -ka(C_\infty - C) \quad (2)$$

<sup>1)</sup> Ir. Panut Mulyono, M.Eng., D.Eng., Dosen Jurusan Teknik Kimia FT-UGM, dan Peneliti pada PSIT UGM

<sup>2)</sup> Jaka Erwanta, Mahasiswa S1 Jurusan Teknik Kimia FT-UGM

dengan  $a$  adalah luas permukaan partikel padatan. Nilai  $a$  pada setiap waktu dituliskan dengan persamaan berikut.

$$a = WS_w \quad (3)$$

Pada penelitian ini, massa partikel yang tidak terlarut pada setiap saat dianggap berbanding lurus dengan diameternya berpangkat 3 dan dituliskan  $W \propto d_p^3$ . Anggapan lainnya adalah bahwa partikel yang digunakan berbentuk bola dengan ukuran yang seragam, sehingga jika ditinjau satu satuan berat partikel padatan maka dari  $S_{w0} \propto d_{p0}^2$  dan  $S_w \propto d_p^2$  didapat:

$$S_w = S_{w0} \left( \frac{d_p}{d_{p0}} \right)^2 \quad (4)$$

Kemudian, dari  $W_0 = \rho_p(\pi/6)d_{p0}^3$  dan  $W = \rho_p(\pi/6)d_p^3$  diperoleh:

$$\frac{d_p}{d_{p0}} = \left( \frac{W}{W_0} \right)^{1/3} \quad (5)$$

Substitusi persamaan (5) ke persamaan (4), lalu substitusikan  $S_w$  ke persamaan (3) dihasilkan (Sano dkk, 1974):

$$a = WS_w = S_{w0}W \left( \frac{W}{W_0} \right)^{2/3} \quad (6)$$

Massa padatan yang tidak melarut ( $W$ ) dihitung dari neraca massa solut dalam tangki.

$$W = W_0 - VC \quad (7)$$

Substitusi persamaan (7) pada persamaan (2) diperoleh:

$$\frac{d(VC)}{dt} = ka(C_s - C) \quad (8)$$

Kemudian substitusikan persamaan (6) ke persamaan (8) dan volume cairan dianggap tetap, maka diperoleh persamaan:

$$V \frac{dC}{dt} = kS_{w0}W \left( \frac{W}{W_0} \right)^{2/3} (C_s - C) \quad (9)$$

Dari persamaan (9), nilai  $k$  dapat ditentukan sebagai berikut:

$$k = \frac{V}{S_{w0}W \left( \frac{W}{W_0} \right)^{2/3} (C_s - C)} \frac{dC}{dt} \quad (10)$$

atau (Sano dkk, 1974):

$$k = \frac{-V}{S_{w0}W \left( \frac{W}{W_0} \right)^{2/3}} \frac{d}{dt} \ln(C_s - C) \quad (11)$$

Dari data percobaan, diperoleh hubungan antara konsentrasi ( $C$ ) sebagai fungsi waktu ( $t$ ). Kemudian dibuat grafik hubungan antara  $\ln(C_s - C)$  dengan  $t$ , dan nilai  $d\ln(C_s - C)/dt$  merupakan tangen arah dari grafik tersebut. Untuk menghindari kesalahan karena berubahnya berat padatan tersisa sebagai fungsi waktu, maka tangen arah dari grafik diambil pada tahap awal proses peleburan ( $t=0$ ).

Hubungan antara koefisien perpindahan massa ( $k$ ) dengan peubah-peubah yang mempengaruhinya lalu dinyatakan dalam bentuk persamaan bilangan tidak berdimensi sebagai berikut (Mao dkk, 1992):

$$\left( \frac{k d_p}{D} \right) = K \left( \frac{\epsilon d_p^4}{v^3} \right)^\alpha \left( \frac{v}{D} \right)^\beta \quad (12)$$

Untuk tangki berpengaduk,  $\epsilon$  pada persamaan (12) dirumuskan seperti pada persamaan (13) (Kikuchi dkk, 1988).

$$\epsilon = \frac{N_p D_i^5 N^3}{V} \quad (13)$$

Nilai  $N_p$  pada persamaan (13) ditentukan dari grafik hubungan antara  $N_p$  dengan  $Re$  untuk jenis pengaduk yang sesuai (Brown, 1978). Persamaan (12) lalu disederhanakan menjadi:

$$Sh = K Re^\alpha Sc^\beta \quad (14)$$

Dari hasil berbagai penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa nilai  $\beta$  pada persamaan (14) adalah 1/3 (Mao dkk, 1992).

## PELAKSANAAN PENELITIAN

### Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah akuades ( $\rho = 0.9964 \text{ g/cm}^3$  dan  $\mu = 0.0082 \text{ g/(cm detik)}$  pada  $28^\circ\text{C}$ ), padatan asam benzoat teknis (diameter rerata 0.1 cm), pelet NaOH, dan asam oksalat.

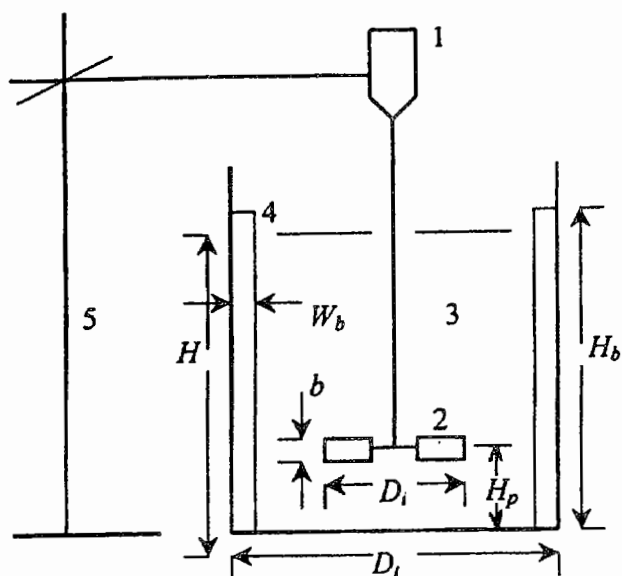
### Alat

Alat penelitian terdiri atas tangki berpengaduk dan berpenghalang, motor pengaduk, pengaduk, dan statif. Tangki yang digunakan terbuat dari plastik dengan tiga macam spesifikasi yang masing-masing

ditunjukkan pada daftar I. Sedangkan rangkaian alat penelitiannya ditunjukkan pada gambar 1.

Daftar I. Spesifikasi tangki yang digunakan dalam penelitian.

| Spesifikasi                                   | T-01          | T-02          | T-03          |
|---|---------------|---------------|---------------|
| Diameter tangki, $D_t$ (cm)                   | 10,5          | 14            | 16,8          |
| Tinggi cairan, $H$ (cm)                       | 10,5          | 14            | 16,8          |
| Diameter pengaduk, $D_i$ (cm)                 | 3,5           | 4,6           | 5,5           |
| Jenis pengaduk                                | <i>paddle</i> | <i>paddle</i> | <i>paddle</i> |
| Jumlah sudu                                   | 2             | 2             | 2             |
| Lebar sudu, $b$ (cm)                          | 0,7           | 0,9           | 1,1           |
| Tinggi pengaduk dari dasar tangki, $H_p$ (cm) | 3,5           | 4,6           | 5,5           |
| Lebar penghalang, $W_b$ (cm)                  | 1,6           | 2,1           | 2,5           |
| Tinggi penghalang, $H_b$ (cm)                 | 10,5          | 14            | 16,8          |
| Jumlah penghalang                             | 4             | 4             | 4             |
| Volume akuades, $V$ (cm)                      | 910           | 2.155         | 3.724         |
| Berat asam benzoat tiap percobaan, $W_0$ (g)  | 13,65         | 32,325        | 55,86         |



- 1) Motor pengaduk; 2) Pengaduk;  
3) Tangki; 4) Penghalang/baffle;  
5) Statif.

Gambar 1. Rangkaian alat penelitian.

## Cara Penelitian

Sebelum percobaan dilakukan, disiapkan terlebih dahulu butiran asam benzoat dengan spesifikasi tertentu dan juga disiapkan larutan untuk analisis sampel hasil percobaan. Butiran asam benzoat dengan ukuran yang relatif seragam, yaitu lolos ayakan 14 mesh dan tertahan ayakan 20 mesh (-14+20 mesh) diperoleh dengan cara melebur serbuk asam benzoat, menggumpalkannya, lalu menumbuknya dan kemudian mengayaknya. Larutan standar NaOH dibuat dengan cara melarutkan pelet NaOH dalam akuades, lalu menstandarisirnya menggunakan larutan asam oksalat. Larutan standar NaOH digunakan untuk mentitrasi sampel percobaan proses pelarutan asam benzoat dalam akuades. Indikator yang digunakan adalah *phenolphthalein* (pp) yang memiliki kisaran kerja pada pH 8,3-10.

Percobaan dilakukan dengan memasukkan sejumlah akuades ke dalam tangki, lalu pengaduk dihidupkan dengan kecepatan putaran tertentu. Setelah kecepatan putaran pengaduk cukup stabil, asam benzoat dengan berat dan ukuran tertentu dimasukkan ke dalam tangki, dan waktu dicatat sebagai waktu awal. Kemudian, setiap selang waktu tertentu, sampel diambil untuk kemudian dianalisis kadar asam benzoatnya. Pengambilan sampel dilanjutkan sampai waktu berjalan 1 jam karena pada saat itu perubahan kadar asam benzoat dalam larutan sebagai fungsi waktu sudah sangat kecil. Pada penelitian ini, dilakukan variasi kecepatan putaran pengaduk dan variasi diameter tangki. Konsentrasi jenuh asam benzoat dalam akuades ditetapkan dengan percobaan tersendiri.

## Analisis Hasil Percobaan

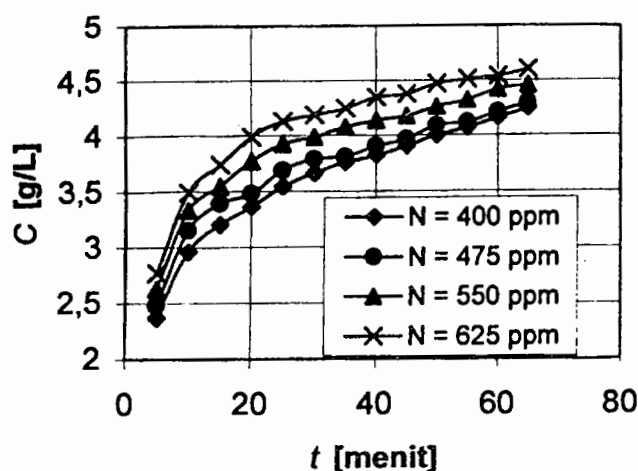
Sampel hasil percobaan dianalisis kadar asam benzoat terlarutnya dengan cara titrasi menggunakan larutan NaOH yang telah distandarisir menggunakan larutan asam oksalat. Indikator yang digunakan adalah pp. Dari analisis sampel hasil percobaan diperoleh data hubungan antara konsentrasi asam benzoat dalam larutan ( $C$ ) sebagai fungsi waktu ( $t$ ) untuk tiap tangki pada kecepatan putaran pengaduk tertentu. Kemudian dibuat grafik hubungan antara  $\ln(C_\infty - C)$  dengan  $t$ , dan nilai  $d \ln(C_\infty - C)/dt$  merupakan tangen arah dari grafik tersebut pada  $t=0$ . Nilai koefisien perpindahan massa lalu dihitung dengan persamaan (11).

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Variasi Kecepatan Putaran Pengaduk

Hasil percobaan yang berupa konsentrasi asam benzoat dalam larutan ( $C$ ) sebagai fungsi waktu ( $t$ ) pada berbagai kecepatan putaran pengaduk (putaran

per menit (ppm)) untuk percobaan menggunakan tangki T-01 ditunjukkan pada gambar 2. Gambar 2 menunjukkan bahwa konsentrasi asam benzoat dalam larutan makin besar untuk waktu pengadukan yang semakin lama. Terjadinya kenaikan konsentrasi asam benzoat dalam larutan sebagai fungsi waktu karena untuk waktu yang semakin lama maka jumlah padatan asam benzoat yang terlarut juga bertambah banyak. Dari gambar 2 juga dapat dilihat bahwa untuk interval waktu yang sama, konsentrasi asam benzoat dalam larutan makin besar dengan naiknya kecepatan putaran pengaduk. Hal ini karena dengan naiknya kecepatan putaran pengaduk berarti turbulensi fluida di dalam tangki menjadi makin besar yang mengakibatkan tebal lapisan filem antara fasa padat dan fasa cair menjadi lebih kecil. Kenaikan putaran pengaduk berarti pula peningkatan kecepatan *supply* energi per satuan massa larutan, sehingga mempercepat proses pelarutan padatan.



Gambar 2. Hubungan antara  $C$  dengan  $t$  untuk percobaan menggunakan tangki T-01.

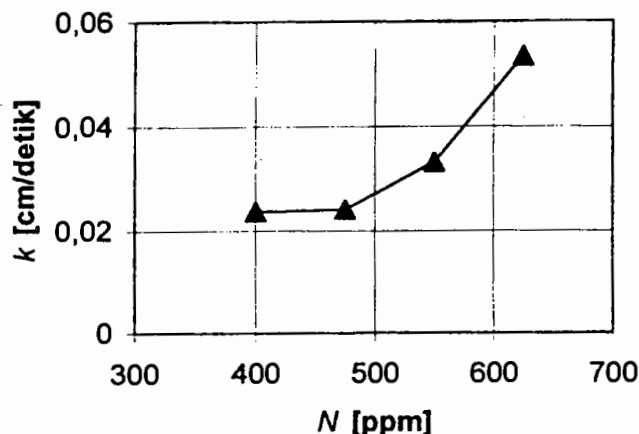
Nilai koefisien perpindahan massa pelarutan dihitung dengan persamaan (11). Untuk percobaan menggunakan tangki T-01 pada masing-masing kecepatan putaran pengaduk diperoleh nilai koefisien perpindahan massa pelarutan seperti yang ditunjukkan pada daftar II. Dari data yang disajikan pada daftar II lalu dibuat grafiknya seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.

Dari daftar II dan gambar 3 dapat dilihat bahwa untuk tangki yang sama, nilai koefisien perpindahan massa pelarutan semakin besar dengan naiknya kecepatan putaran pengaduk. Hal ini karena dengan naiknya kecepatan putaran pengaduk menyebabkan naiknya turbulensi cairan di dalam tangki. Dengan naiknya turbulensi itu maka memperkecil tebal lapisan filem antara fasa padat dan fasa cair. Dari persamaan (1) dapat dilihat bahwa nilai  $k$  berbanding

lurus dengan koefisien difusifitas dan berbanding terbalik dengan tebal lapisan filem. Dengan menganggap koefisien difusifitas selama percobaan nilainya tetap, maka nilai  $k$  pasti naik dengan berkurangnya tebal lapisan filem. Karena tebal lapisan filem mengecil dengan naiknya kecepatan putaran pengaduk, maka nilai  $k$  makin besar dengan naiknya kecepatan putaran pengaduk. Kenaikan kecepatan putaran pengaduk berarti pula peningkatan kecepatan *supply* energi per satuan massa larutan ( $\epsilon$ ). Dari persamaan (12) terlihat bahwa nilai  $k$  berbanding lurus dengan  $\epsilon$ . Pada percobaan ini, nilai  $k$  naik dengan tajam pada kenaikan kecepatan putaran pengaduk 475 ppm ke atas.

Daftar II. Nilai koefisien perpindahan massa pelarutan untuk T-01.

| Kecepatan Putaran Pengaduk, $N$ (ppm) | Koefisien Perpindahan Massa, $k$ (cm/detik) |
|---------------------------------------|---|
| 400                                   | 0.0238                                      |
| 475                                   | 0.0242                                      |
| 550                                   | 0.0333                                      |
| 625                                   | 0.0534                                      |

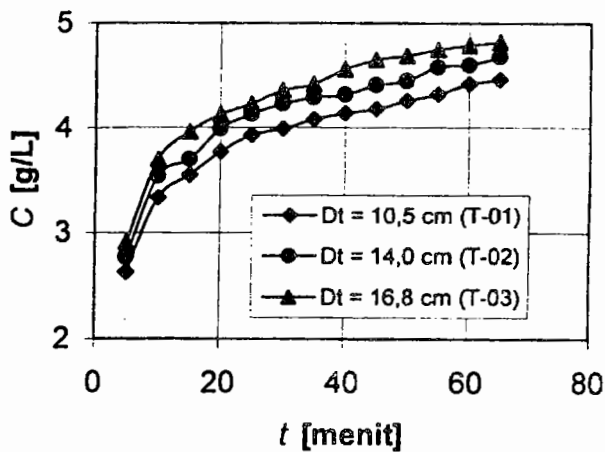


Gambar 3. Hubungan antara  $k$  dengan  $N$  untuk T-01.

### Variasi Diameter Tangki

Percobaan untuk variasi diameter tangki dilakukan menggunakan tangki T-01, T-02, dan T-03 dengan kecepatan putaran pengaduk 550 ppm. Hasil percobaan berupa konsentrasi asam benzoat dalam larutan ( $C$ ) sebagai fungsi waktu ( $t$ ) untuk masing-masing tangki ditunjukkan pada gambar 4. Pada gambar 4 dapat dilihat bahwa konsentrasi asam benzoat dalam larutan makin besar dengan

bertambahnya waktu. Gambar 4 juga menunjukkan bahwa pada interval waktu yang sama, konsentrasi asam benzoat dalam larutan naik dengan naiknya diameter tangki. Hal ini karena turbulensi cairan dalam tangki naik dengan naiknya diameter tangki yang proporsional dengan naiknya diameter pengaduk pada kecepatan putaran pengaduk yang tetap. Turbulensi cairan di sekitar padatan yang melarut dalam tangki berpengaduk, dinyatakan dalam bilangan Reynolds yang nilainya berbanding lurus dengan kecepatan *supply* energi per satuan massa larutan ( $\epsilon$ ) dan nilai  $\epsilon$  berbanding lurus dengan diameter pengaduk perpangkat 5. Kenaikan turbulensi cairan di sekitar padatan yang melarut dalam tangki berpengaduk mempercepat proses pelarutan padatan sehingga konsentrasi padatan yang melarut makin besar dengan naiknya diameter tangki/pengaduk.

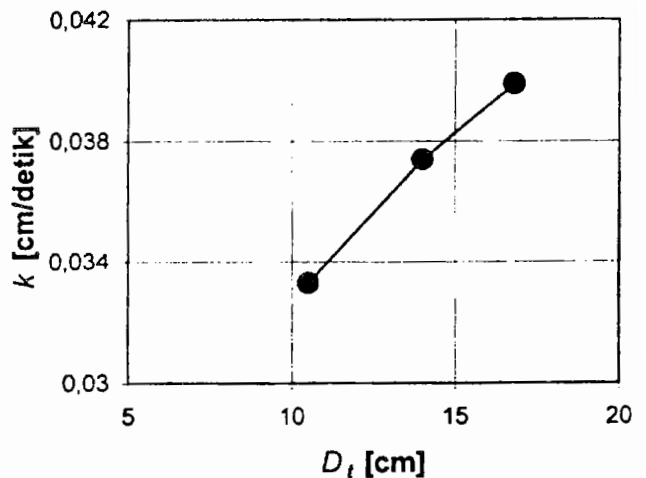


Gambar 4. Hubungan antara  $C$  dengan  $t$  pada berbagai diameter tangki, untuk  $N = 550$  ppm.

Hasil perhitungan nilai koefisien perpindahan massa pelarutan pada berbagai diameter tangki disajikan pada daftar III dan gambar 5. Dari daftar III dan gambar 5 dapat dilihat bahwa pada kecepatan putaran pengaduk yang sama, nilai koefisien perpindahan massa pelarutan semakin besar dengan naiknya diameter tangki. Kenaikan ini disebabkan oleh naiknya turbulensi cairan dalam tangki dengan naiknya diameter tangki pada kecepatan putaran pengaduk yang sama. Seperti ditunjukkan pada persamaan (12) bahwa nilai  $k$  berbanding lurus dengan  $\epsilon^\alpha$  dan  $\epsilon$  berbanding lurus dengan  $D_i^5$ .

Daftar III. Nilai koefisien perpindahan massa pada berbagai diameter tangki untuk  $N = 550$  ppm.

| Diameter Tangki, $D_i$ (cm) | Koefisien Perpindahan Massa, $k$ (cm/detik) |
|-----------------------------|---|
| 10.5 (T-01)                 | 0.0333                                      |
| 14.0 (T-02)                 | 0.0374                                      |
| 16.8 (T-03)                 | 0.0399                                      |



Gambar 5. Hubungan antara nilai  $k$  dengan  $D_i$  untuk  $N = 550$  ppm.

### Persamaan Korelasi Hasil Percobaan

Hubungan antara nilai  $k$  dengan peubah – peubah yang mempengaruhinya dinyatakan dengan persamaan (14) dengan mengambil nilai  $\beta = 1/3$  (Mao dkk, 1992). Persamaan (14) lalu diubah bentuknya menjadi persamaan (15) dan diambil nilai logaritmanya seperti ditunjukkan pada persamaan (16).

$$\frac{Sh}{Sc^{1/3}} = K Re^\alpha \quad (15)$$

$$\log \left( \frac{Sh}{Sc^{1/3}} \right) = \log K + \alpha \log Re \quad (16)$$

Dengan membuat grafik hubungan antara  $\log (Sh/Sc^{1/3})$  versus  $\log Re$ , maka diperoleh nilai  $\alpha$  sebagai tangen arah dan  $\log K$  sebagai *intercept* dari grafik tersebut. Nilai-nilai  $K$ ,  $\alpha$ , ralat relatif rerata, dan kisaran  $Re$  untuk ketiga tangki ditunjukkan pada daftar IV.

Daftar IV. Nilai-nilai  $K$ ,  $\alpha$ , ralat relatif rerata, dan kisaran  $Re$  untuk ketiga tangki.

| Tangki | $Re$                | $K$    | $\alpha$ | Ralat. % |
|--------|---------------------|--------|----------|----------|
| T-01   | 147.910 - 595.070   | 0.0262 | 0.5792   | 13.06    |
| T-02   | 210.730 - 791.480   | 3.7377 | 0.1944   | 4.68     |
| T-03   | 279.490 - 1.006.240 | 0.0680 | 0.4952   | 5.54     |

Bila data untuk ketiga tangki tersebut digabungkan, maka secara keseluruhan hubungan kelompok bilangan tidak berdimensinya menjadi:

$$Sh = 0,2286 Re^{0,407} Sc^{1/3} \quad (17)$$

pada kisaran  $Re = 147.910-1.006.240$  dan  $Sc = 1.101-1.127$ , dengan ralat relatif rerata 9,97%.

### Perbandingan dengan Hasil Penelitian Lain

Banyak peneliti telah melakukan penelitian tentang perpindahan massa pelarutan padatan baik dalam tangki berpengaduk maupun dalam kolom gelembung. Berikut disajikan hasil-hasil yang telah dipublikasikan di literature sebagai pembanding dari hasil penelitian ini.

Ishii dan Fujita (Sano dkk, 1974) mempelajari pelarutan  $K_2SO_4$  pada tangki berpengaduk dan dengan  $Sc = 1000$  diperoleh persamaan:

$$Sh = 0,095 \left( \frac{\epsilon d_p^4}{v^3} \right)^{0,23} Sc^{0,5} \quad (18)$$

Kamakura dan Sasano (Sano dkk, 1974) melaporkan hasil penelitian pelarutan asam benzoat,  $CaCO_3$ ,  $BaCO_3$ , dan  $PbI_2$  pada kolom gelembung dengan diameter kolom 14 cm. Untuk kisaran  $Sc = 712-1020$ , diperoleh persamaan:

$$Sh = 0,72 \left( \frac{\epsilon d_p^4}{v^3} \right)^{0,208} Sc^{1/3} \quad (19)$$

Sano dkk (1974) mempelajari koefisien perpindahan massa pelarutan partikel padatan pada bejana berpengaduk dan kolom gelembung secara bersamaan. Diameter bejana berpengaduk yang digunakan adalah 9,5, 17,5, 20, dan 40 cm sedangkan kolom gelembungnya berdiameter 10 dan 20 cm. Data yang diperoleh disajikan dengan persamaan (20) berikut.

$$Sh = [2 + 0,4 \left( \frac{\epsilon d_p^4}{v^3} \right)^{1/4} Sc^{1/3}] \phi_c \quad (20)$$

Persamaan (20) di atas berlaku untuk  $(\epsilon d_p^4/v^3)$  dari 1 sampai  $10^7$  dengan standar deviasi 30,8%.

Dari persamaan-persamaan di atas, terlihat bahwa terdapat perbedaan pada koefisien persamaan dan pangkat pada bilangan Reynoldsnya. Perbedaan ini disebabkan karena adanya perbedaan sistem dan dimensi-dimensi alat percobaan yang digunakan.

### KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai koefisien perpindahan massa pelarutan,  $k$ , makin besar dengan naiknya kecepatan putaran pengaduk dan makin besarnya diameter tangki/diameter pengaduk.
2. Hubungan antara nilai  $k$  dengan peubah-peubah yang mempengaruhinya dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan kelompok bilangan tidak berdimensi:  $Sh = K Re^\alpha Sc^{1/3}$  dengan nilai-nilai  $K$ ,  $\alpha$ , ralat relatif rerata, dan kisaran  $Re$  seperti yang ditunjukkan pada daftar berikut pada nilai  $Sc = 1.101-1.127$ .

| Tangki | $Re$                | $K$    | $\alpha$ | Ralat. % |
|--------|---------------------|--------|----------|----------|
| T-01   | 147.910 - 595.070   | 0.0262 | 0.5792   | 13.06    |
| T-02   | 210.730 - 791.480   | 3.7377 | 0.1944   | 4,68     |
| T-03   | 279.490 - 1.006.240 | 0.0680 | 0.4952   | 5.54     |

3. Persamaan gabungan untuk ketiga tangki dinyatakan dengan persamaan berikut:  
 $Sh = 0,2286 Re^{0,407} Sc^{1/3}$  pada kisaran bilangan  $Re = 147.910- 1.006.240$  dan  $Sc = 1.101-1.127$ , dengan ralat relatif rerata 9,97%.

### DAFTAR LAMBANG

- $a$  = luas permukaan partikel padatan,  $cm^2$ .  
 $b$  = lebar sudu, cm.  
 $C$  = konsentrasi, g/cm<sup>3</sup>.  
 $C_s$  = konsentrasi jenuh, g/cm<sup>3</sup>.  
 $D$  = koefisien difusivitas,  $cm^2/detik$ .  
 $D_i$  = diameter pengaduk, cm.  
 $D_t$  = diameter tangki, cm.  
 $d_p$  = diameter partikel padatan, cm.  
 $H$  = tinggi cairan dalam tangki, cm.  
 $H_b$  = tinggi penghalang, cm.  
 $H_p$  = tinggi pengaduk dari dasar tangki, cm.  
 $K$  = tetapan.  
 $k$  = koefisien perpindahan massa, cm/detik.  
 $N$  = kecepatan putaran pengaduk, ppm.  
 $N_p$  = power number, -  
 $Re$  = bilangan Reynolds,  $\epsilon d_p^4/v^3$ , -

$Sc$  = bilangan Schmidt,  $\nu/D$ . -  
 $Sh$  = bilangan Sherwood,  $kd_p/D$ . -  
 $S_w$  = luas permukaan spesifik padatan,  $\text{cm}^2/\text{g}$ .  
 $t$  = waktu, detik.  
 $V$  = volume larutan,  $\text{cm}^3$ .  
 $W$  = berat padatan, g.  
 $W_b$  = lebar penghalang, cm.  
 $X_m$  = tebal lapisan film efektif, cm.  
 $\alpha, \beta$  = tetapan.  
 $\varepsilon$  = kecepatan *supply* energi per satuan massa cairan,  $\text{cm}^2/\text{detik}^3$ .  
 $\mu$  = viskositas larutan,  $\text{g}/(\text{cm detik})$ .  
 $\pi$  = tetapan = 3,1416.  
 $\rho_p$  = berat jenis padatan,  $\text{g}/\text{cm}^3$ .  
 $\nu$  = viskositas kinematik,  $\text{cm}^2/\text{detik}$ .  
 $\phi_c$  = Carman's *surface factor*, -

## INDEKS

0 = kondisi awal.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Untung Budiman atas bantuannya selama penelitian ini dilaksanakan.

## DAFTAR PUSTAKA

Barker, J.J. and Treybal, R.E., 1960, Mass Transfer Coefficients for Solid Suspended in Agitated Liquids, *AIChE J.*, 6, 289-295.  
 Brian, P.L.T., Hales, H.B., and Sherwood, T.K., 1969, Transport of Heat and Mass Between Liquids and Spherical Particles in an Agitated Tank, *AIChE J.*, 15, 727-733.  
 Brown, G.G., 1978, *Unit Operations*. Modern Asia Editions, John Wiley & Sons, Inc., Tokyo.

Harriott, P., 1962, Mass Transfer to Particles: Part-I. Suspended in Agitated Tanks, *AIChE J.*, 8, 93-101.  
 Hixson, A.W. and Crowell, J.H., 1931, Dependence of Reaction Velocity Upon Surface and Agitation, I-Theoretical Consideration, *Ind. Eng. Chem.*, 28(8), 923-931.  
 Hixson, A.W. and Baum, S.J., 1941a, Mass transfer Coefficients in Liquid-Solid Agitation Systems, *Ind. Eng. Chem.*, 33(4), 478-485.  
 Hixson, A.W. and Baum, S.J., 1941b, Heat and Mass Transfer Coefficients in Liquid-Solid Systems, *Ind. Eng. Chem.*, 33(11), 1433-1439.  
 Kikuchi, K.I., Sugawara, T. and Ohashi, H., 1988, Correlation of Liquid-Side Mass Transfer Coefficient Based on the New Concept of Specific Power Group, *Chem. Eng. Sci.*, 43(9), 2533-2540.  
 Mao, H.H., Chisti, Y., and Moo-Young, M., 1992, Multiphase Hydrodynamics and Solid-Liquid Mass Transport in an External-Loop Airlift Reactor- a Comparative Study, *Chem. Eng. Comm.*, 113, 1-13.  
 Miller, D.N., 1971, Scale-Up of Agitated Vessels. Mass Transfer from Suspended Solute Particles, *Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop.*, 10(3), 365-375.  
 Ranz, W.E. and Marshall, W.R., 1952, Evaporation From Drops. Part II, *Chem. Eng. Progress*, 48(4), 173-180.  
 Sano, Y., Yamaguchi, N., and Adachi, T., 1974, Mass Transfer Coefficients for Suspended Particles in Agitated Vessels and Bubble Columns, *J. Chem. Eng. Japan*, 7(4), 255-261.  
 Zwietering, T.N., 1958, Suspending of Solid Particles in Liquid by Agitators, *Chem. Eng. Sci.*, 8, 224-253.